

CONSIDERACIONES SOBRE EL CAMPO RADIADO POR UNA ANTENA

Constantino Pérez Vega⁽¹⁾, Francisco Marante Rizo⁽²⁾, José M^a Zamanillo Sáinz de la M.⁽¹⁾, Angel Mediavilla Sánchez⁽¹⁾

perezvr@unican.es, marante@electronica.cujae.edu.cu, jose.zamanillo@unican.es, media@dicom.unican.es

⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Cantabria, 39005 Santander.

⁽²⁾ Dpto. de Telecomunicaciones, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, La Habana, Cuba.

Abstract- In this work, an analysis of the field components is made in order to establish a reference for the practical measurement of electric field or power at a distance well in the far field of radiation. Such reference distance can be considered as that where the reactive part of the Poynting vector is at least 30 dB below the real part. Even when the analysis is done for a current element, the results can be extended to real antennas and are in good agreement with the values found by other authors.

I. INTRODUCCIÓN

En el campo radiado por una antena suelen considerarse tres regiones: Una muy cercana a la antena a distancias de 0 a $0.62\sqrt{l^3/3}$ [1] en que l es la longitud de la antena y se designa como campo cercano reactivo. Otros autores definen las fronteras del campo reactivo a distancias de 1.6λ para antenas infinitesimales (elementos de corriente) y dipolos cortos, 2λ para dipolos de $\lambda/2$ y 3λ para antenas de una longitud de onda. La segunda región, definida en [1] a distancias entre $0.62\sqrt{l^3/3}$ y $2D^2/\lambda$ se designa como región de Fresnel o campo cercano de radiación y finalmente, como región de Fraunhofer o simplemente campo lejano, al que se tiene a distancias mayores de $2D^2/\lambda$. Puede decirse que, desde un punto de vista práctico, el campo cercano es de escaso interés y que en la región cercana a la antena se comporta de forma "extraña" o "turbulenta" de manera semejante al flujo de agua en las inmediaciones de la cortina de una presa. En la región del campo cercano de radiación, la distribución angular del campo depende de la distancia a la antena y la onda radiada es inicialmente esférica y se transforma progresivamente en plana. Un hecho cierto es que las mediciones realizadas en la cercanía de la antena no reflejan el comportamiento del campo de forma que se pueda determinar el patrón de radiación. Ahora bien, ¿a qué distancia de la antena las mediciones pueden considerarse fiables? Este es en cierta forma el objeto de este trabajo, realizando un análisis de las componentes del campo electromagnético formuladas en función de la distancia a la antena expresada en longitudes de onda, a fin de establecer un criterio práctico para determinar la distancia adecuada a la que pueden realizarse mediciones del campo con razonable certeza de que se está en la región del campo lejano.

Generalmente se admite [1] que a distancias mayores que $2D^2/\lambda$ la distribución angular del campo es independiente de la distancia, si bien en [2] y [3] la definición está más en línea

con el criterio seguido para este trabajo, en que se considera la frontera del campo lejano como la distancia a la que la componente radial de los campos es despreciable (-30 dB) respecto a la transversal, es decir, puede considerarse que las componentes radiales de los campos \mathbf{E} y \mathbf{H} son cero y, por consecuencia, la parte imaginaria del vector de Poynting en la zona lejana es cero.

II. BASES TEORICAS

El punto de partida para el análisis, son las ecuaciones de los campos radiados por un elemento de corriente en la geometría de la figura 1, que en una forma bastante usual se expresan en coordenadas polares como:

$$H_\phi = \frac{I_m l e^{-j\beta r}}{4\pi} \left(\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) \quad (1)$$

$$E_r = \frac{I_m l e^{-j\beta r}}{4\pi} \left(\frac{2Z_0}{r^2} + \frac{2}{j\omega\epsilon r^3} \right) \quad (2)$$

$$E_\theta = \frac{I_m l e^{-j\beta r}}{4\pi} \left(\frac{j\omega\mu}{r} + \frac{Z_0}{r^2} + \frac{1}{j\omega\epsilon r^3} \right) \quad (3)$$

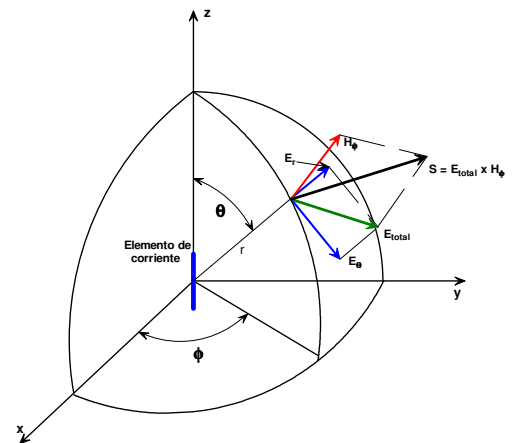


Fig. 1. Geometría de los campos radiados por un elemento de corriente

En las ecuaciones anteriores $\beta = 2\pi/\lambda$ y r es la distancia del elemento de corriente al punto de observación.

El campo magnético sólo tiene una componente azimutal; sus líneas forman círculos cerrados en el plano perpendicular al elemento de corriente, en tanto que el campo eléctrico tiene

dos componentes, una en la dirección de propagación, \mathbf{r} y otra en dirección transversal a esta, $\boldsymbol{\theta}$. Para que la onda sea plana y transversal a la dirección de propagación es necesario que la componente radial del campo eléctrico sea nula o tan pequeña que no tenga un efecto práctico sobre la dirección del vector de Poynting.

Para el propósito de este trabajo, se han formulado las ecuaciones anteriores expresando la distancia en términos de la longitud de onda como $\mathbf{r} = k\boldsymbol{\lambda}$, donde k es un número real positivo mayor que cero. En esta formulación se asume que la impedancia de onda Z_0 es de $120\pi \Omega$, lo que no es necesariamente cierto en la cercanía de la antena. En cualquier caso los resultados coinciden razonablemente con los de otros autores [2] y pueden considerarse como válidos en aplicaciones prácticas. En estas condiciones las ecuaciones anteriores pueden escribirse como:

$$H_\phi = \frac{1}{2k\lambda^2} \left(\frac{1}{2\pi k} + j \right) I_m l e^{-j2\pi k} \sin \theta \quad (4)$$

$$E_r = \frac{60}{\lambda^2 k^2} \left(1 - \frac{j}{2\pi k} \right) I_m l e^{-j2\pi k} \cos \theta \quad (5)$$

$$E_\theta = \frac{30}{k\lambda^2} \left[\frac{1}{k} + j \left(2\pi - \frac{1}{2\pi k^2} \right) \right] I_m l e^{-j2\pi k} \sin \theta \quad (6)$$

Las magnitudes de los campos anteriores se ilustran en la figura 2 para una distancia hasta de 5λ de la antena.

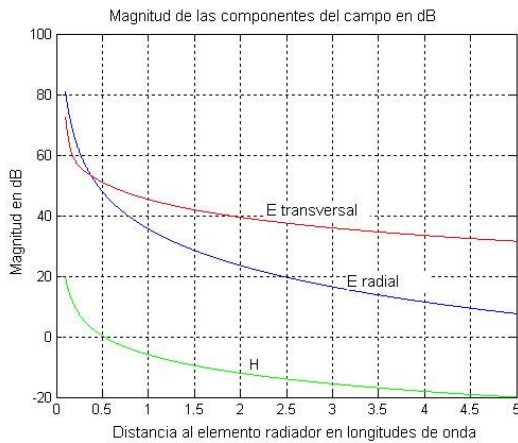


Fig. 2. Magnitudes relativas de los campos radiados

De la figura se aprecia que la componente radial del campo eléctrico es mayor que la transversal hasta una distancia de aproximadamente 0.35λ y, a partir de ahí, decrece y comienza a predominar la componente transversal. En este trabajo se ha analizado la situación desde el punto de vista de la densidad de flujo de potencia (vector de Poynting):

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (7)$$

Donde:

$$\vec{E} = \vec{1}_r E_r + \vec{1}_\theta E_\theta \quad \text{y} \quad \vec{H} = \vec{1}_\phi H_\phi \quad (8)$$

En que $\vec{1}_r$, $\vec{1}_\theta$ and $\vec{1}_\phi$ son vectores unitarios en las direcciones r , θ y ϕ respectivamente. De (7) y (8) se obtiene el vector de Poynting, \vec{S} , como:

$$\vec{S} = \vec{1}_r E_\theta H_\phi - \vec{1}_\theta E_r H_\phi = S_{real} + j S_{reactiva} \quad (9)$$

La componente reactiva decae rápidamente, ya que los términos en $1/r^2$ y $1/r^3$ del campo eléctrico disminuyen rápidamente al aumentar la distancia. Así, a distancias “grandes” es válida la siguiente aproximación:

$$H_\phi = \frac{j}{2k\lambda^2} I_m l e^{-j2\pi k} \sin \theta \quad (10)$$

$$E_r \approx 0 \quad (11)$$

$$E_\theta \approx \frac{j60\pi}{k\lambda^2} I_m l e^{-j2\pi k} \sin \theta \quad (12)$$

En estas condiciones,

$$\vec{S} \approx \vec{1}_r E_\theta H_\phi \quad (13)$$

El producto $E_r H_\phi$ es real y la componente reactiva del vector de Poynting decae también considerablemente con la distancia, de modo que puede establecerse un criterio respecto a qué distancia se puede considerar dicha componente como no significativa. Uno adecuado puede ser que si la componente reactiva es 30 dB inferior a la real, el efecto sobre la dirección del vector de Poynting no es significativa y la onda puede considerarse como plana y homogénea y las mediciones a esa distancia pueden considerarse como fiables.

De la formulación planteada se ve que las componentes activa y reactiva tienen la misma magnitud a una distancia de 0.072λ de la antena y, a partir de esta distancia la componente real comienza a crecer respecto a la reactiva, como se ilustra en la figura 3.

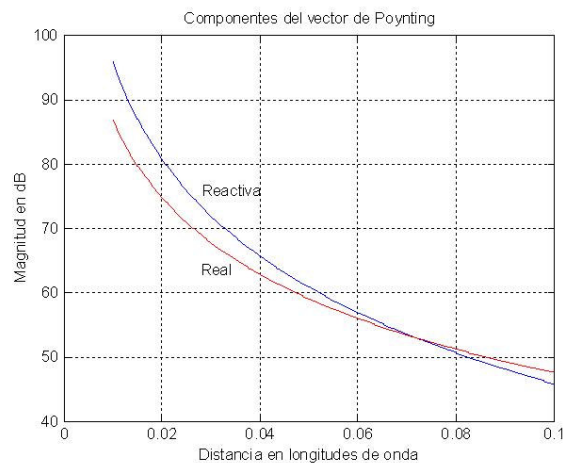


Fig. 3. Comportamiento de las componentes real y reactiva de la densidad de flujo de potencia a distancias entre 0.01λ y 0.1λ .

III. RESULTADOS

De lo anterior se ve que a partir de 0.072λ , predomina la componente real, si bien la componente reactiva no puede

ignorarse y, por consecuencia el vector de Poynting no está en la dirección radial. A frecuencias de VHF o mayores, esta distancia (72 cm a 30 MHz y 72 m a 300 KHz) ni es significativa ni tiene el menor interés en la práctica. A partir de 0.072λ , la componente reactiva comienza a disminuir respecto a la componente real y, a una distancia de 1.6λ , el nivel de la componente reactiva es de -30 dB respecto a la componente real, como se aprecia en la figura 4 en que la curva corresponde a la relación entre la magnitud de las componentes reactiva y real en el intervalo de 0.5λ a 2λ . Por otra parte, en la figura 5 se muestra el ángulo del vector de Poynting con la dirección radial de propagación y es, a 20λ de 0.06° es decir, prácticamente paralelo.

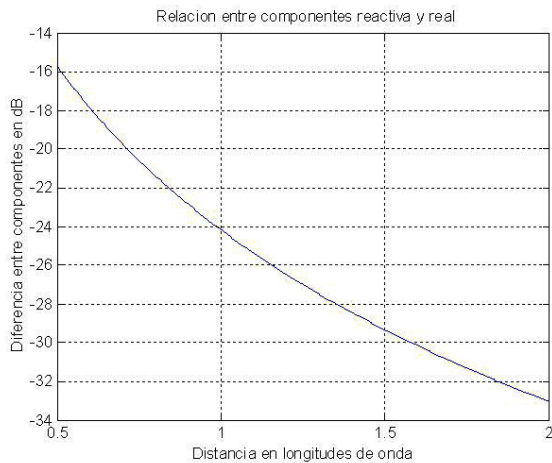


Fig. 4. Relación entre la magnitud de las componentes reactiva y real de la densidad de flujo de potencia a distancias de 0.5λ a 2λ de la antena.

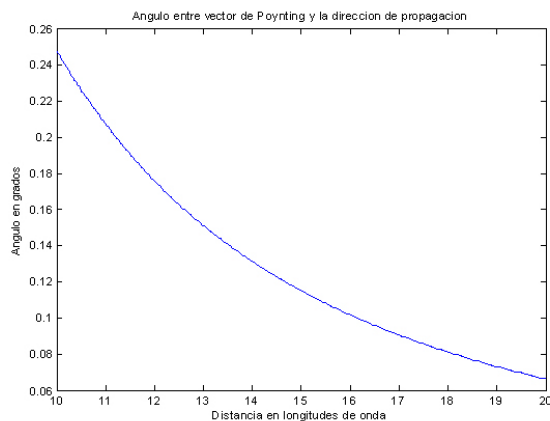


Fig. 5. Ángulo entre el vector de Poynting y la dirección de propagación.

En estas condiciones, la potencia que se mida, o la intensidad de campo es, prácticamente, la real o activa y la dirección del vector de Poynting puede considerarse radial.

Los valores anteriores son válidos para un elemento de corriente; sin embargo, no difieren apreciablemente de los que se obtienen con el criterio de Balanis, para antenas de dimensiones del orden de unas pocas longitudes de onda. Estos resultados son de interés para la medición de la potencia radiada o de la intensidad de campo. Si la medición se realiza en la zona en que la componente reactiva de la potencia es significativa ($< 2\lambda$ por ejemplo), sin duda no será fiable. En la prác-

tica estas mediciones, particularmente en las bandas de VHF y UHF se suelen realizar a distancias superiores a 20λ , de modo que se puede estar seguro de que lo que se mide es, efectivamente, la densidad de flujo de potencia en la dirección de propagación. La aplicación del criterio de -30 dB entre las componentes radial y transversal es importante en la medición del diagrama de radiación y determina la distancia mínima a la que la onda puede considerarse como plana y uniforme.

IV. CONCLUSIONES

Se ha hecho un repaso de los aspectos básicos de radiación electromagnética por una antena, para determinar la distancia a la que el campo reactivo no puede considerarse significativo. El análisis se ha hecho mediante una formulación particular en que la distancia a la antena se expresa en términos de la longitud de onda. Los resultados indican que el campo reactivo predomina a distancias inferiores a 0.072λ . A distancias mayores predomina el campo real y, a 2λ de la antena, el nivel la componente reactiva es 35 dB inferior al del real.

Referencias

- [1] Balanis, C. A. *Antenna Theory*, 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [2] Laybros, S. and Combas, P.F. "On Radiating-Zone Boundaries of Short, $\lambda/2$ and λ Dipoles". *IEEE Ant. and Prop. Mag.* Vol. 46, No. 5, October 2004, pp. 53-64.
- [3] Para un tratamiento riguroso de estas regiones véase G.T. Márkov y D.M. Sazónov. *Antenas*. Editorial MIR, Moscú, 1978.